

# **Міністерство освіти і науки України**

## **Національний університет водного господарства та природокористування Навчально-науковий інститут водного господарства та природооблаштування**

### **Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**“Затверджую”**

Проректор з науково-педагогічної,  
методичної та виховної роботи

\_\_\_\_\_ О.А. Лагоднюк

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**01-06-67**



#### **Робоча програма навчальної дисципліни**

Program of the Discipline

#### **„Спеціальні питання тепломасообміну”**

„ Special issues of heat and mass transfer ”

**спеціальність 144 „Теплоенергетика”**

specialty 144 „ Heat Power Engineering”

Рівне-2019

Робоча програма навчальної дисципліни „Спеціальні питання тепломасообміну” для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика», першого (бакалаврського) рівня підготовки.- Рівне: НУВГП, 2019. – 10 с.

**Розробник:** В.В.Куба, старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

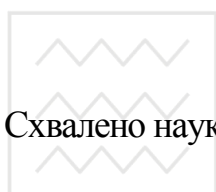


Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Робочу програму схвалено на засідання кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Протокол № 7 від 12 лютого 2019 року.

Завідувач кафедри ГЕ, ТЕ та ГМ \_\_\_\_\_ О. А. Рябенко



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Схвалено науково-методичною комісією за спеціальністю 144 „Теплоенергетика”.

Протокол № 7 від 27 березня 2019 року.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ О. П. Костюк

© В.В.Куба, 2019  
© НУВГП, 2019

## ВСТУП

Програма вибіркової навчальної дисципліни «Спеціальні питання тепломасообміну» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок при розрахунках процесів передачі теплоти в специфічних умовах та параметрах тіл і середовищ.

Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна «Спеціальні питання тепломасообміну» є складовою частиною фундаментальної підготовки інженерів за спеціальністю «Теплоенергетика», а її вивчення передбачає наявність систематичних і ґрунтовних знань з дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Гідрогазодинаміка», «Тепломасообмін» та закладає основи для вивчення дисциплін «Теплотехнологічні процеси та установки», «Високотемпературні процеси та установки», «Котельні установки», «Теплопостачання промислових підприємств».

Вимоги до знань та умінь визначаються галузевими стандартами вищої освіти України.

## Анотація

Програма розрахована на студентів, які навчаються за спеціальністю 144 «Теплоенергетика». Програма передбачає комплексне вивчення процесів тепло та масообміну в специфічних умовах та параметрах, які використовуються для розв'язку інженерних задач.

У курсі «Спеціальні питання тепломасообміну» розглянуті процеси передачі теплоти теплопровідністю, конвекційним теплообміном, випромінюванням, процеси масообміну.

Ключові слова: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання, критичні параметри, молекулярна та конвекційна дифузія.

## Abstract

The program is designed for students studying in the specialty 144 "Thermal Power Engineering". The program provides a comprehensive study of the processes of heat and mass transfer in specific conditions and parameters used to solve engineering problems.

In the course "Special issues of heat and mass transfer" the processes of heat transfer by heat conduction, convection heat exchange, radiation, processes of mass transfer are considered.

Key words: thermal conductivity, convection, thermal radiation, critical parameters, molecular and convection diffusion.

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників   | Спеціальність, рівень вищої освіти          | Характеристика навчальної дисципліни |                       |
|---|---|--------------------------------------|-----------------------|
|   |   | денна форма навчання                 | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 5,0  | Галузь знань – 14<br>«Електрична інженерія» | Вільного вибору                      |                       |
| Модулів: 1  | Спеціальність 144<br>«Теплоенергетика»      | Рік підготовки                       |                       |
| Змістових модулів-2   |   | 3-й                                  | 4-й                   |
| Загальна кількість годин - 150  |   | Семестр                              |                       |
|   |   | 6-й                                  | 8-й                   |
|   |   | Лекції                               |                       |
|   |   | 38 год.                              | 2 год.                |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4,0<br>СРС – 6,0 | Рівень вищої освіти– бакалавр               | Практичні                            |                       |
|   |   | 20 год                               | 16 год                |
|   |   | Лабораторні                          |                       |
|   |   | -                                    | -                     |
|   |   | Самостійна робота                    |                       |
|   |   | 92 год.                              | 136 год.              |
|   |   | Вид контролю                         |                       |
|   |   | залік                                | залік                 |

**Примітка:** співвідношення кількості аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

- для денної форми навчання - 39% до 61%;
- для заочної форми навчання – 9% до 91 %.

## 2. Мета та завдання дисципліни

**Метою** вивчення навчальної дисципліни є формування у майбутніх фахівців поглиблених знань процесів тепло - і масообміну, розвиток навиків і вміння використовувати основні закономірності тепломасообміну при розв'язанні конкретних задач теплових розрахунків теплотехнічного обладнання зі специфічними умовами.

**Завдання** дисципліни – забезпечити необхідний рівень знань процесів тепломасообміну з параметрами, які характерні для окремих галузей та установок.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

- **знати** теорію і розуміти фізичну сутність процесів тепломасообміну, що протікають у специфічних умовах;

- **в м і т и** застосовувати основні теоретичні положення до розв'язування практичних задач проектування, розрахунку і вибору теплотехнічних установок і обладнання, давати аналіз отриманих результатів.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1 ОКРЕМІ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ**

##### **Тема 1. Дослідження процесів теплопровідності методом аналогій.**

Наближені методи розв'язку теплопровідності. Метод аналогій. Електротеплова аналогія. Моделі з безперервними параметрами та з зосередженими параметрами.



##### **Тема 2. Тепловіддача поверхонь зі штучною шорсткістю**

Інтенсифікація процесу тепловіддачі за рахунок створення штучної шорсткості. Види шорсткості. Оптимальні параметри штучної шорсткості. Порівняння застосування штучної шорсткості з підвищенням швидкості з точки зору інтенсифікації процесу тепловіддачі.

##### **Тема 3. Тепловіддача рідких металів**

Умови застосування рідких металів. Тепловіддача в каналах різної форми та при обтіканні тіл. Тепловіддача при вільній конвекції рідких металів.

##### **Тема 4. Тепловіддача при русі газу з великими швидкостями**

Зв'язок між температурою та швидкістю звуку в газах. Параметри гальмування потоку. Коефіцієнт поновлення температури та узагальнений коефіцієнт тепловіддачі. Тепловіддача до пластини. Тепловіддача при русі потоку в трубах.

##### **Тема 5. Тепловіддача при надкритичному стані речовини**

Надкритичний та навколокритичний стан речовини. Особливості властивостей речовини та теплообміну в надкритичному та навколокритичному стані речовини.

##### **Тема 6. Тепловіддача розріджених газів**

Особливості процесів переносу в розріджених газах. Взаємодія молекул з поверхнею. Вільний молекулярний переніс теплоти. Течія з просковзуванням і температурним стрибком. Вільна конвекція в розрідженому газі. Вакуумна ізоляція.

## **Тема 7. Охолодження електричних машин і трансформаторів**

Схеми охолодження. Тепловий розрахунок елементів електричних машин і трансформаторів. Види теплообмінників та їх характеристики. Охорона праці при експлуатації електричних машин і трансформаторів.

## **Тема 8. Теплообмін в електротермічних установках**

Класифікація електротермічних установок (ЕТУ) і їх основні характеристики. Визначення корисної та встановленої потужності. Теплові втрати в ЕТУ. Нагрів виробів. Теплообмін в електропечах опору. Інфрачервоний нагрів. Електронно-променевий нагрів. Плазмовий нагрів. Охорона праці при експлуатації електротермічних установок.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## **Змістовий модуль 2** ***ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ***

### **Тема 9. Тепло- і масообмін при фазових перетвореннях**

Кипіння рідини у вертикальних трубах. Кипіння у горизонтальних і похилих трубах. Механізм теплообміну при плівковому кипінні рідини. Тепловіддача при ламінарному та турбулентному русі парової плівки.

Тепло- і масообмін при конденсації пари з парогазової суміші.

### **Тема 10. Кризи теплообміну при кипінні в каналах**

Загальні положення. Криза теплообміну в круглих трубах. Криза в змієвикових трубах. Криза теплообміну в кільцевих каналах. Кризи кипіння в пучках стержнів атомних реакторів.

### **Тема 11. Вплив інтенсифікації теплообміну на кризи при кипінні**

Інтенсифікації теплообміну турбулізацією потоку. Інтенсифікація теплообміну закруткою. Вплив шорсткості поверхні на кризу. Вплив відкладень на поверхні.

### **Тема 12. Тепло- і масообмін при хімічних перетвореннях**

Основні відомості про хімічні перетворення. Гетерогенні та гомогенні реакції. Теплота хімічної реакції. Основні рівняння тепломасообміну при хімічних перетвореннях. Теплообмін між газовою сумішшю та поверхнею розділу фаз.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових<br>модулів і тем                                      | Кількість годин            |              |              |   |     |               |
|---|----------------------------|--------------|--------------|---|-----|---------------|
|   | денна форма / заочна форма |              |              |   |     |               |
|   | Усього                     | у тому числі |              |   |     |               |
|   |                            | лек          | пр           | л | інд | ср            |
| 1   | 2                          | 3            | 4            | 5 | 6   | 7             |
| <b>Модуль 1</b>   |                            |              |              |   |     |               |
| <b>Змістовий модуль 1. <i>ОКРЕМІ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ</i></b>           |                            |              |              |   |     |               |
| <b>Тема 1.</b> Дослідження процесів теплопровідності методом аналогій | 16/16                      | 4/0          | 2/2          | - | -   | 10/14         |
| <b>Тема 2.</b> Тепловіддача поверхонь зі штучною шорсткістю           | 8/8                        | 2/-          | 2/1          | - | -   | 4/7           |
| <b>Тема 3.</b> Тепловіддача рідких металів                            | 8/8                        | 2/0          | -/-          | - | -   | 6/8           |
| <b>Тема 4.</b> Тепловіддача при русі газу з великими швидкостями      | 8/8                        | 2/0          | 2/1          | - | -   | 4/7           |
| <b>Тема 5.</b> Тепловіддача при надкритичному стані речовини          | 8/8                        | 2/0          | 2/1          | - | -   | 4/7           |
| <b>Тема 6.</b> Тепловіддача розріджених газів                         | 8/8                        | 2/0          | -/-          | - | -   | 6/8           |
| <b>Тема 7.</b> Охолодження електричних машин і трансформаторів        | 8/8                        | 2/-          | 2/1          | - | -   | 4/7           |
| <b>Тема 8.</b> Теплообмін в електротермічних установках               | 16/16                      | 4/1          | 2/2          | - | -   | 10/13         |
| <b>Разом – зм. модуль 1</b>   | <b>80/80</b>               | <b>20/1</b>  | <b>12/8</b>  | - | -   | <b>48/71</b>  |
| <b>Змістовий модуль 2 <i>ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ</i></b>             |                            |              |              |   |     |               |
| <b>Тема 9.</b> Тепло- і масообмін при фазових перетвореннях           | 17/17                      | 4/1          | 2/1          | - | -   | 11/15         |
| <b>Тема 10.</b> Кризи теплообміну при кипінні в каналах               | 19/19                      | 6/0          | 4/1          | - | -   | 9/18          |
| <b>Тема 11.</b> Вплив інтенсифікації теплообміну на кризи при кипінні | 17/17                      | 4/0          | -/-          | - | -   | 13/17         |
| <b>Тема 12.</b> Тепло- і масообмін при хімічних перетвореннях         | 17/17                      | 4/0          | 2/2          | - | -   | 11/15         |
| <b>Разом – зм. модуль 2</b>   | <b>70/70</b>               | <b>18/1</b>  | <b>8/4</b>   | - | -   | <b>44/65</b>  |
| <b>Усього годин (залік)</b>   | <b>150</b>                 | <b>38/2</b>  | <b>20/12</b> | - | -   | <b>92/136</b> |

## 5. Теми практичних занять

| №<br>з/п | Теми практичних занять                                 | Кількість годин |              |
|----------|--|-----------------|--------------|
|          |  | Денна форма     | Заочна форма |
| <b>1</b> | <b>2</b>   | <b>3</b>        | <b>4</b>     |
| 1        | Дослідження процесів теплопровідності методом аналогій | 2               | 2            |
| 2        | Тепловіддача поверхонь зі штучною шорсткістю           | 2               | 1            |
| 3        | Тепловіддача при русі газу з великими швидкостями      | 2               | 1            |
| 4        | Тепловіддача при надкритичному стані речовини          | 2               | 1            |
| 5        | Охолодження електричних машин і трансформаторів        | 2               | 1            |
| 6        | Теплообмін в електротермічних установках               | 2               | 2            |
| 7        | Тепло- і масообмін при фазових перетвореннях           | 2               | 1            |
| 8        | Кризи теплообміну при кипінні в каналах                | 4               | 1            |
| 9        | Тепло- і масообмін при хімічних перетвореннях          | 2               | 2            |
|          | <b>Усього:</b>   | <b>20</b>       | <b>12</b>    |

## 6. Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

1. Підготовка до аудиторних занять (0,5 год. на 1 год. аудит. занять) – 28 години;
2. Підготовка до контрольних заходів (6 годин на 1 єврокредит) – 30 години;
3. Підготовка питань, які не розглядаються під час аудиторних занять – 34 години

### 6.1 Завдання для самостійної роботи

| №<br>з/п | Назва теми   | Кількість годин |              |
|----------|--|-----------------|--------------|
|          |  | Денна форма     | Заочна форма |
|          | Дослідження процесів теплопровідності методом аналогій | 8               | 12           |
| 1.       | Тепловіддача поверхонь зі штучною шорсткістю           | 6               | 8            |
| 2.       | Вплив інтенсифікації теплообміну на кризи при кипінні  | 6               | 9            |
| 3        | Теплообмін в електротермічних установках               | 6               | 9            |
| 4        | Тепло- і масообмін при хімічних перетвореннях          | 8               | 12           |
|          | <b>Всього годин:</b>                                   | <b>34</b>       | <b>50</b>    |



## 7. Методи навчання

На лекційних і практичних заняттях використовується інформаційно-ілюстративний (опорні конспекти лекцій та слайди мультимедійної презентації) і проблемний методи навчання.

## 8. Методи контролю

Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються такі методи оцінювання знань:

- поточне тестування з використанням ПК після вивчення кожного змістового модуля;
- оцінка за індивідуальну роботу під час практичних занять;
- оцінка за самостійну роботу

Для контролю знань студентів використовується система зі 100 бальною шкалою оцінювання.

Підсумковий контроль знань студентів відбувається за результатами поточного контролю знань в семестрі.

## 9. Розподіл балів, що отримують студенти

| Поточне тестування та самостійна робота |    |    |    |    |    |    |    |                    |     |     |     | Сума |
|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------------|-----|-----|-----|------|
| Змістовий модуль 1                      |    |    |    |    |    |    |    | Змістовий модуль 2 |     |     |     |      |
| T1                                      | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9                 | T10 | T11 | T12 |      |
| 8                                       | 6  | 6  | 6  | 7  | 7  | 6  | 8  | 12                 | 12  | 11  | 11  |      |
| 54                                      |    |    |    |    |    |    |    | 46                 |     |     |     |      |

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка за національною шкалою                              |
|--|--|
|  | для заліку   |
| 90-100                                       | зараховано   |
| 82-89  |  |
| 74-81  |  |
| 64-73  |  |
| 60-63  |  |
| 35-59  | незараховано з можливістю повторного складання             |
| 0-34   | незараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

## 10. Методичне забезпечення

Методичне забезпечення навчальної дисципліни „Спеціальні питання тепломасообміну” включає:

- Методичні вказівки до практичних занять, контрольних та самостійних робіт із дисципліни “ТЕПЛОМАСООБМІН” для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», та 6.050602 «Гідроенергетика» денної, заочної та дистанційної форм навчання (шифр 01-07-07). Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/6885>

- конспект лекцій на паперовому носію;
- конспект лекцій на електронному носію;

## 11. Рекомендована література



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

### *Базова*

1. Теплопередача: Учебник для вузов /В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416с. ил.
2. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник /Е. В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б. Т. Емцев и др.; Под. общ. ред. В.А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с. ил.
3. Галин Н. М., Кириллов П. Л. Тепломассообмен (в ядерной энергетике): Учеб. пособие для вузов . – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 376 с. ил.

### *Допоміжна*

1. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с. ил.
2. Авчухов В. В., Паюсте Б. Я. Задачник по процессам тепломассообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с. ил.
3. Кириллов П. Л., Богословская Г. П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 457 с.
4. Лабай В. Й. Тепломасообмін. – Львів.: -Тріада плюс, 1998. – 260с. іл.
5. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура. /Под ред. Оленевского В. М. – М.: Химия, 1988. – 240 с., ил.

1

## 12. Ресурси

1. Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського/ (Електронний ресурс)  
Режим доступу: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua)
2. Наукова бібліотека НУВГП – м.Рівне, вул. О.Новака, 75.  
Режим доступу: [nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka](http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka)